

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ

А.Л. Ревзон, С.В. Шварев

ОАО ЦНИИС, ИФЗ РАН

Изучение взаимодействия инженерных сооружений и окружающей природной среды в условиях повсеместной глобальной активизации опасных природно-техногенных процессов очень важно, поскольку позволяет своевременно предупреждать аварии и катастрофы в состоянии природно-технических систем (ПТС).

Для анализа ситуации, своевременного получения объективных данных и эффективного управления ПТС все более актуальными становятся методы, обеспечивающие получение экспресс-информации высокой точности, базирующиеся на применении многоспектрального разновысотного аэрокосмического зондирования и ГИС-технологий. Они обеспечивают возможность комплексной оценки состояний ПТС по схеме: кадастр — динамика — прогноз — инженерная защита, увязанной, с одной стороны, с требованиями инженерного управления, а с другой — с факторами и закономерностями развития природно-техногенных процессов.

Пространственное разрешение сканирующих датчиков в

современных системах аэрокосмического зондирования (до 0,5 м) в сочетании со значительным количеством узких спектральных диапазонов при большом площадном покрытии обеспечивает достаточные условия для получения достоверных данных на всех иерархических уровнях в системе управления состоянием взаимодействия сооружений и природной среды в виде многоуровневой системы специализированных цифровых карт инженерной направленности, составляемых на базе ГИС-технологий. Это обеспечивает широкое масштабное картографирование ПТС в увязке как с кадастрами природных ресурсов — на верхних иерархических уровнях, так и с технологическими системами управления — на низших. Сплошное картографирование целесообразно начать с транспортной инфраструктуры — линейных сооружений "системы жизнеобеспечения" экономики, а на втором этапе перейти к точечным объектам.

Этот подход актуален как для новых объектов в осваиваемых районах, где взаимодействие техногенных и природных процессов происходит наиболее интенсивно, так и для

давно функционирующих ПТС. Именно недоучет развития опасных природных и природно-техногенных процессов как при создании, так и при функционировании ПТС приводит к многократным, часто не эффективным капитальным вложениям для срочного устранения неожиданно возникшей угрозы или восстановления функционирования инженерного сооружения.

В качестве примера эффективности такого подхода к обеспечению безопасности взаимодействия природы и сооружений в статье рассматривается ПТС дистанции пути Барнаул — Бийск Западно-Сибирской железной дороги, подверженная на ряде участков воздействию интенсивно развивающейся овражной эрозии.

Железная дорога, построенная в 1911 г. как ответвление транссибирской магистрали и сооруженная по нормам проектирования того времени без разработки специальной инженерной защиты, устойчиво работала до середины 50-х гг. XX в. В 1953 — 1956 гг. первые овражные врезы были обнаружены на расстоянии 100 — 150 м от полотна. При средних скоро-

стях прироста вершин в несколько метров в год непосредственное разрушение насыпи могло произойти в течение 10 — 15 лет, а при катастрофическом развитии процессов — через 2 — 3 года. Сложившаяся ситуация заставила принимать активные меры, однако и через десятки лет проблему нельзя назвать окончательно решенной — овражная опасность сохраняется, а защитные сооружения с завидной регулярностью разрушаются и вновь восстанавливаются (рис. 1).

В оправдание строителей и эксплуатационников следует отметить, что не только строительные нормативы столетней давности, но и современные нормы инженерных изысканий (СНиП 11-02-96), инженерной защиты территорий, зданий и сооружений (СНиП 2-01-15-90 и СНиП 22-02-2003) не определяют оврагообразование как опасный процесс. А упоминаемая в качестве такового в СНиП 22-01-95 (Геофизика природных процессов) овражная эрозия имеет достаточно расплывчатые и односторонние критерии оценки (площадная порожённость и скорость прироста), характерные только для учета существующих активных оврагов без территориальной привязки к инженерным сооружениям и без определения зоны потенциальной опасности.

В сложившейся ситуации на основе применения разномастного многоспектрального аэрокосмического зондирования на всем протяжении трассы железной дороги были установлены:

- причины и закономерности развития оврагов в зоне влияния железной дороги как потенциальной опасности для равновесного состояния ПТС;
- активность и динамика роста оврагов;
- условия и характер взаимодействия оврагов и инженерных сооружений собственно железной дороги и сооружений действующей инженерной защиты.

Каждая из задач решалась на своем иерархическом уровне при составлении специализированных цифровых карт, масштабный ряд которых укрупнялся по мере детализации решаемых задач:

- современного состояния ПТС по всей трассе железной дороги на участке Барнаул — Бийск (рис. 2);
- оценки устойчивости ПТС на наиболее опасных участках, выявленных на карте, приведенной на рис. 2 (рис. 3);
- прогноза критических ситуаций на неустойчивых участках, выявленных по карте, приведенной на рис. 3 (рис. 4).

Составленные карты имеют единую форму отображения

факторов природной составляющей на инженерные сооружения.

Для создания первых двух карт применен принцип дифференциации территории по ведущему процессу с переносом акцентов с потенциальной экзогеодинамичности (см. рис. 2) на фактически существующую (см. рис. 3). В первом случае выделены территории, обладающие определенным сочетанием состава приповерхностных горизонтов горных пород и облекающих их форм рельефа, образующих субстрат формирования экзогенных процессов. Реализация природного потенциала определяется состоянием верхних

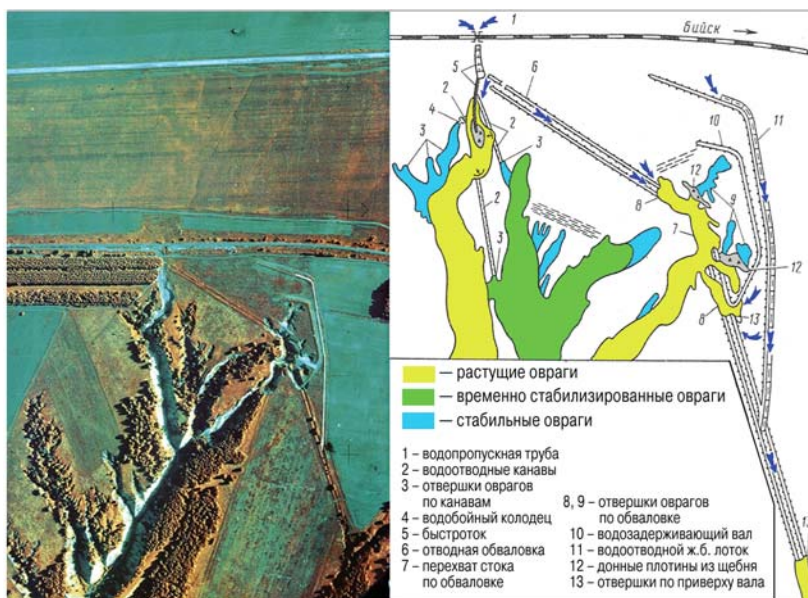


Рис. 1. Состояние ПТС железной дороги Барнаул—Бийск на участке интенсивного оврагообразования:

слева — синтезированный многозональный аэрофотоснимок участка с оврагом; справа — схема действующих сооружений инженерной защиты от воздействия овражной эрозии

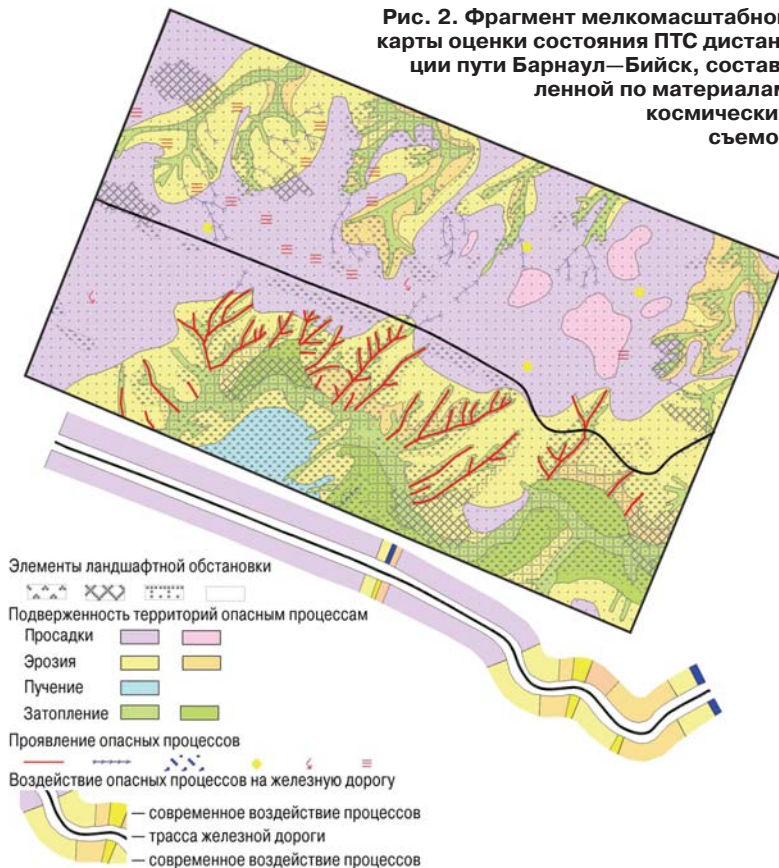
информации, представленную двумя блоками:

- первый — условия функционирования ПТС;
- второй — воздействие опасных экзогенных процессов на инженерные объекты и их состояние.

Информация первого блока отражает природные характеристики, представлена в традиционной двумерной модели (дополнена линейной диаграммой), оценивает характер и масштаб воздействия

ярусов ландшафта — почвенно-растительного покрова, а в условиях тотальной техногенной нарушенности территории — хозяйственным освоением. Таким образом, определены потенциально эрозионно-, просадочно-, дефляционно-опасные и затопляемые территории с различной степенью устойчивости в соответствии с матричными соотношениями суммарных стабилизирующего и изменяющего компонентов ландшафта.

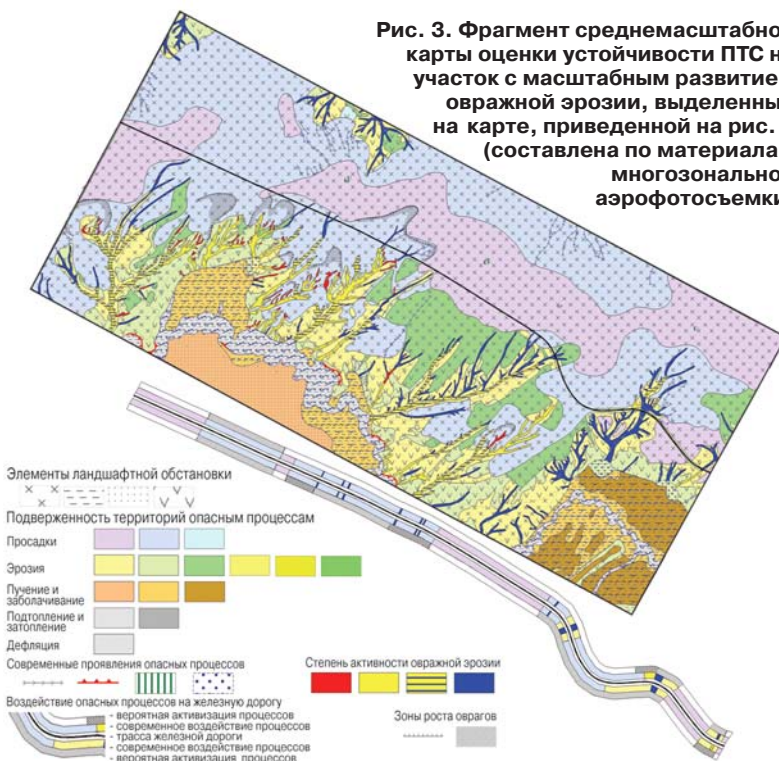
Рис. 2. Фрагмент мелкомасштабной карты оценки состояния ПТС дистанции пути Барнаул—Бийск, составленной по материалам космических съемок



Информация второго блока определяется данными экзогеодинамики территории картографирования, получаемой по данным оценки интенсивности про-

текания ведущих процессов по площадным показателям, рассчитанным по данным сравнительного анализа разновременных аэрокосмических снимков.

Рис. 3. Фрагмент среднемасштабной карты оценки устойчивости ПТС на участок с масштабным развитием овражной эрозии, выделенный на карте, приведенной на рис. 2 (составлена по материалам многозональной аэрофотосъемки)



Укрупнение масштабов и "приближение" к инженерным сооружениям ПТС изменяет информационную нагрузку карт от преимущественно природной к природно-техногенной и техногенной. Поэтому карта прогноза критических ситуаций (см. рис. 4) отражает структурные взаимосвязи в системе ландшафтно-климатические условия — инженерные сооружения — экзогенные процессы. Единство составляющих ПТС определяется едиными формальными критериями рельефа, субстрата, растительного покрова, внутренне дифференцированными на естественные и искусственные составляющие. Детальная классификация овражной эрозии, включающая формы русел, бровок, вершин, поперечных и продольных профилей, степени активности и переработки частей овражных склонов, скоростей вершинной эрозии и устьевой аккумуляции сочетается с определением причин и факторов техногенной активизации оврагов и участков направленного воздействия процессов на инженерные сооружения. Последовательное приближение в системе картографирования позволило на первом этапе (см. рис. 2) выделить 20 относительно опасных и 5 опасных участков ПТС железной дороги.

Критериями выделения служили типовые инженерно-геологические условия, при которых в первом случае развитие процессов может способствовать критическим ситуациям в состоянии ПТС, а во втором — приводит к ним. Для выделенных участков проанализировано соответствие интенсивности и хода развития процессов наличию и достаточности защитных сооружений (см. рис. 3). Во всех случаях уровень инженерной защиты ПТС недостаточен. Для этих участков и были составлены карты прогноза критических ситуаций.

Детальное изучение характера взаимодействия сооружений с формами проявления активной эрозии на участках возможных критических ситуаций показало, что во всех случаях причинами активизации оврагов явились непосредственные воздействия сооружений железной дороги — водопропускных труб и водоотводных канав. Локализация стока и распашка водосборов — типичные региональные факторы оврагообразования. При этом локализацию стока для железной дороги Барнаул — Бийск надо понимать несколько шире — как превышение допустимых для равновесного состояния единичной флювиальной балочной системы объемов стока, образующихся при пересечении линейным сооружением нескольких водосборов. Поэтому основным средством стабилизации техногенного оврагообразования должна стать компенсация или ликвидация избыточных объемов стока. Однако до настоящего времени эта причина не учитывается как определяющая, так как водопропускные сооружения

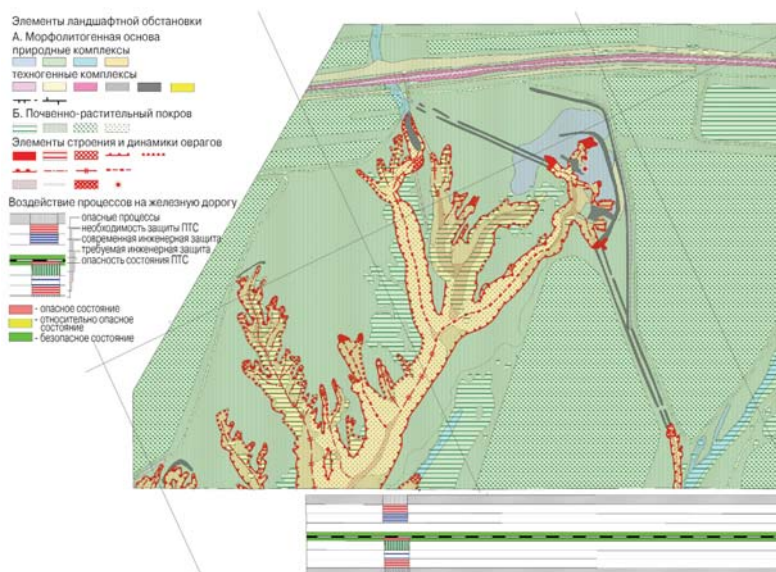


Рис. 4. Фрагмент крупномасштабной карты прогноза критических ситуаций в состоянии ПТС участка с высокой вероятностью активизации овражной эрозии, выделенного на карте, приведенной на рис. 3 (составлена по материалам топографической аэрофотосъемки и данным наземных обследований)

расположены в руслах естественных водотоков со стабильным режимом и, на первый взгляд, не изменяют условий стока.

В табл. 1 приведены мероприятия по инженерной защите трассы железной дороги Барнаул — Бийск от овраж-

ной эрозии, развивающейся на участках расположения водопропускных труб (см. рис. 1) вследствие превышения допустимых объемов стока.

Выявлены причинно-следственные связи в системе процесс — сооружение и соответ-

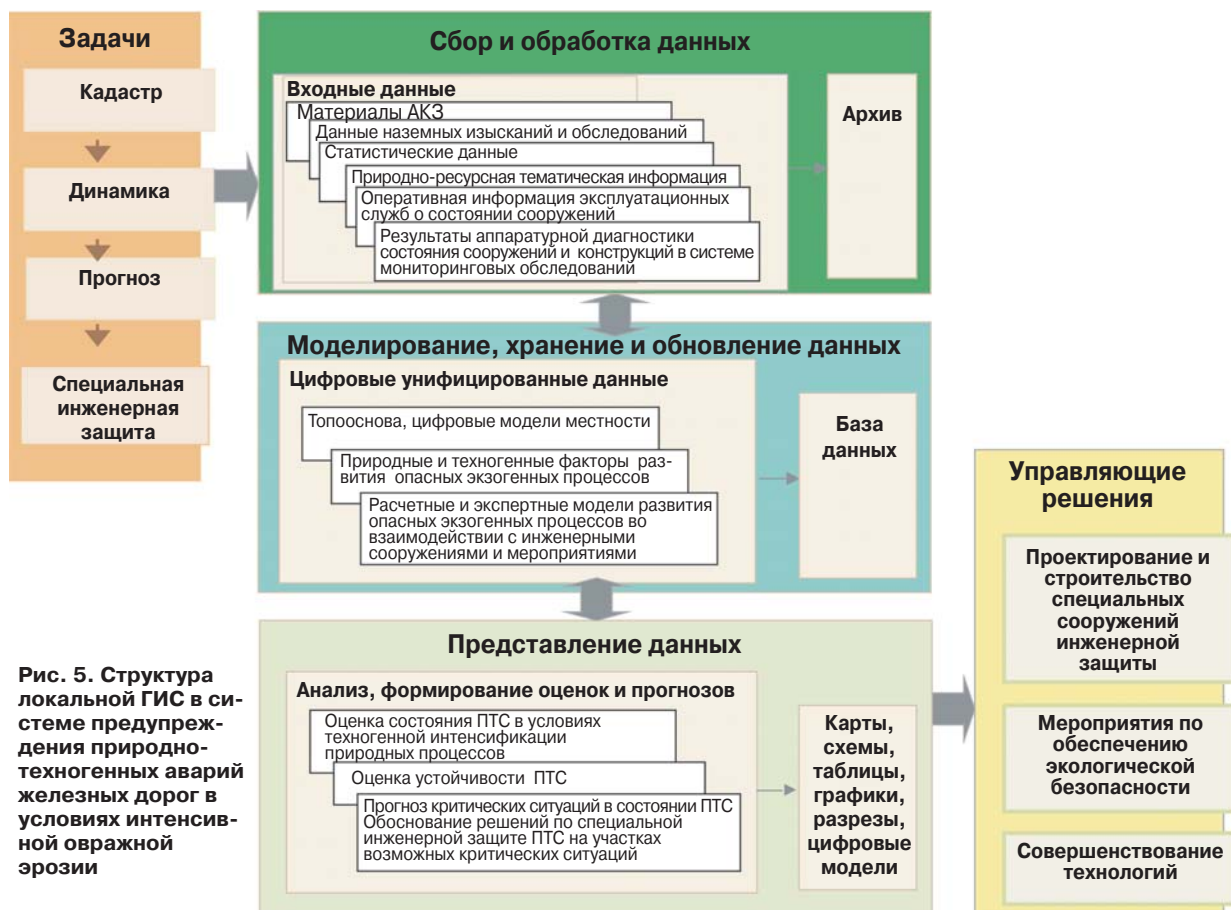


Рис. 5. Структура локальной ГИС в системе предупреждения природно-техногенных аварий железных дорог в условиях интенсивной овражной эрозии

Таблица 1. Мероприятия по инженерной защите от овражной эрозии трассы железной дороги Барнаул—Бийск на участках расположения водопропускных труб

Участок	1-й этап		2-й этап		3-й этап	
	Мероприятие	Результат	Мероприятие	Результат	Мероприятие	Результат
37-й км	Переброска части стока в соседние водосборы	Развитие серии оврагов	Переброска стока	Образование серии оврагов	Переброска стока	Ветвление оврагов
			Обваловка канав	Утечка части стока, размыв	Укрепление канав	Размыв устья канав
42-й км	Установка деревянного лотка в вершине оврага	Размыв основания, разрушение	Устройство бетонного колодца	Локальная стабилизация	Обваловка вершин оврагов	Обход валов, ветвление
			Установка металлической трубы	Размыв основания, разрушение	Отсыпка под трубу	Частичная стабилизация (боковые размывы и оползни)
					Отсыпка в вершину	Обход плотин, ветвление
49-й км	Перекрытие водопропускной трубы	Перелив через полотно, оврагообразование в соседнем водосборе	Отсыпка грунта	Частичная стабилизация	—	—
			Отвод части стока			
			Установка железобетонного лотка	Размыв основания, разрушение		
88-й км	Устройство железобетонного лотка	Размыв основания, разрушение	То же	То же	—	—
	То же	То же	Отвод части стока	Ветвление оврагов		
	Отвод части стока	Ветвление оврагов	Установка железобетонного лотка	Частичная стабилизация	—	—
			Прокладка канавы с обваловкой	Ветвление оврагов		
89-й км	Устройство железобетонного лотка	Размыв основания, разрушение	Установка железобетонного лотка	Подмыв основания, разрушение	—	—
	Отвод части стока	Ветвление оврагов	Отвод части стока	Ветвление оврагов		
			Блокирование части стока	Частичная стабилизация		

ственно разработаны с помощью аэрокосмических снимков мероприятия по инженерной защите.

Из таблицы видно, что на всех участках стратегия защиты основывалась на двух направлениях: отвод стока непосредственно от вершины угрожающего вреза и совершенствование водоприемных конструкций в его пределах. Защитные сооружения при этом оказывали как положительное, так и отрицательное воздействие (табл. 2).

Наиболее эффективны капитальные железобетонные быст-

ротки с водобойными колодцами и плотины из щебня в вершинах оврагов, основанные на принципе диссипации энергии текущей воды и в наименьшей степени провоцирующие побочные эффекты. Но они разрушаются из-за боковых деформаций в результате размывов склонов, на которые опирается сооружение, либо из-за вертикальных деформаций в результате размыва основания. Устойчивое же состояние наблюдается только при сопряжении быстротока с водоотводными канавами, перебрасывающи-

ми часть стока в соседний водосбор. Но в любом случае состояние защитного сооружения зависит от объема избыточного стока. Неустойчивое состояние как неэффективных, так и самых эффективных защитных сооружений связано с неустраненной первичной причиной оврагообразования под влиянием железной дороги — превышение допустимых для равновесного состояния в эрозионных системах объемов стока.

Выполненные исследования позволили объединить составленные карты и всю исходную информацию, положенную в их основу, а также рекомендации по совершенствованию инженерной защиты ПТС в специализированную локальную геоинформационную систему (рис. 5), которая прошла успешную апробацию на рассмотренных в статье объектах. Это позволяет считать ее перспективной для широкого применения при обеспечении безопасности линейных сооружений большой протяженности. ■

Таблица 2. Эффективность сооружений и мероприятий инженерной защиты

Сооружения, мероприятия	Воздействие		Категория	
	положительное	отрицательное	по цели	по побочному действию
Водоотводные каналы	+	+	П	П
Водозадерживающие валы	-	+	Д	П
Деревянные лотки	+	+	П	П
Металлические трубы	+	+	П	П
Железобетонные быстротоки и колодцы	+	-	П	-
Отсыпки местных грунтов в вершины	-	-	Д	П
Отсыпки дренирующих грунтов в вершины	+	-	Д	-
Примечание. Д — диссипирующие сооружения, П — перераспределяющие.				